

ТЕХНИКА ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

УДК 621.316

С. И. КОСТРИКОВ

О КОНТРОЛЕ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТОВ В РЕЖИМЕ НИЗКИХ УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Рассматриваются особенности контроля переходного сопротивления контактов в режиме низких уровней напряжения. Приводится описание методов контроля.

Переходное сопротивление чистых контактов, измеренное в режиме 6 В, 10 или 100 мА и в режиме так называемой «сухой цепи» при напряжении источника питания 10—30 мВ, имеет одно и то же значение. При наличии в зоне контактирования каких-либо пленок загрязнения результаты измерения переходного сопротивления в режиме низких уровней могут быть значительно выше по сравнению с режимом 6 В. Это объясняется тем, что низкий уровень напряжения питания контактной цепи не вызывает никаких изменений, кроме нагрева контактных поверхностей, в то время как напряжение 6 В может вызвать пробой (фриттинг) пленок загрязнения. Поэтому проверка переходного сопротивления контактов в режиме низких уровней является более жестким испытанием по сравнению с контролем при напряжении 6 В и применяется в тех случаях, когда хотят выявить потенциально ненадежные контакты, имеющие загрязнения. Если известно, что контакты будут работать при низких уровнях напряжения, то такой контроль должен быть обязательен.

Что касается тока, то его величина не имеет принципиального значения и может лежать в довольно широких пределах. На практике величина тока выбирается исходя из чувствительности применяемой аппаратуры и величины критерия отбраковки по сопротивлению. Снизу величина тока ограничивается предельной чувствительностью аппаратуры, а сверху максимальной тепловой мощностью, выделяемой в зоне контактирования. Учитывая сопротивление выводов реальных контактов и сопротивление подводящих проводов, это значение тока практически не достигается [1]. По другим данным [2, 3], верхнее значение тока при напряжении на контактах до 20—30 мВ вообще ничем не ограничивается.

Наиболее просто сопротивление контактной цепи можно измерить при питании от источника тока, в этом случае падение напряжения на контактах будет пропорционально величине их переходного сопротивления. Такой режим легко достигается при напряжении 6 В и токах 0,01 и 0,1 А, если измеряемое сопротивление не превосходит нескольких единиц Ома. Простейшее устройство для измерения (рис. 1) содержит стабилизированный источник питания контактной цепи, сопротивление на-

грузки и милливольтметр. Подключение контролируемых контактов к устройству производится по четырехпроводной схеме с помощью специальных колодок для исключения погрешности от падения напряжения на соединительных проводах.

Падение напряжения на контролируемых контактах определяется выражением:

$$U_k = \frac{U}{R_u + 2r_p + 2r_n + R_k} \cdot R_k, \quad (1)$$

где R_u — сопротивление нагрузки,

r_p — переходное сопротивление контактов колодки подключения,

r_n — сопротивление проводов подключения,

R_k — сопротивление контактной цепи контролируемых контактов.

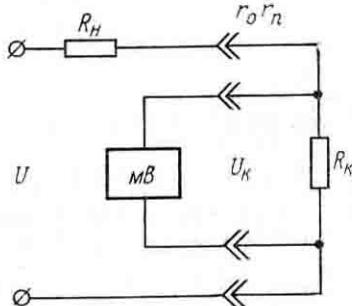


Рис. 1. Простейшее устройство для измерения сопротивления контактной цепи

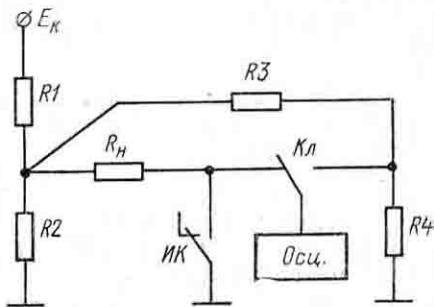


Рис. 2. Схема контроля сопротивления контактов реле при низких уровнях нагрузки осциллографическим методом сравнения:

E_k — источник питания, ИК — испытуемый контакт, Кл — ключ, Осц — осциллограф

Для тока 10 мА сопротивление нагрузки $R_u = 600$ Ом, поэтому можно считать, что $R_u \gg 2r_p + 2r_n + R_k$.

Тогда

$$U_k \approx \frac{U}{R_u} \cdot R_k, \quad (2)$$

то есть падение напряжения на контактах пропорционально величине переходного сопротивления.

В режиме «сухой цепи» при напряжении источника питания 20 мВ и токе 10 мА сопротивление нагрузки $R_u = 2$ Ом, т. е. сравнимо с сопротивлением проводов, переходным сопротивлением колодки подключения и измеряемым сопротивлением контактной цепи. В этом случае можно пользоваться только расчетным выражением (1). Как видно из (1), падение напряжения на контактах в режиме «сухой цепи» оказывается непропорциональным величине переходного сопротивления, так как изменяется ток контактной цепи в зависимости от измеряемого сопротивления, что вызывает определенные трудности при измерении и обработке получаемой информации. Кроме того, на результаты измерения может оказать влияние непостоянство переходного сопротивления колодки подключения и сопротивления подводящих проводов. Существует ряд технических решений, направленных на преодоление этих трудностей.

В устройстве [4], изображенном на рис. 2, используется метод сравнения падения напряжения на испытуемом контакте с образцовым на-

прожением, сформированным с помощью специального делителя напряжения (R_3, R_4). Сравнение напряжений производится визуально на экране осциллографа. Питание контактов осуществляется от нижнего плеча делителя напряжения (R_1, R_2) через сопротивление нагрузки R_n . Величина сопротивления R_2 обычно очень мала, однако она сравнима с величиной сопротивления нагрузки. Поэтому делитель напряжения (R_3, R_4) рассчитывается таким образом, чтобы учесть изменение падения напряжения на резисторе R_2 при замкнутом и разомкнутом состояниях испытуемого контакта. Поочередное подключение испытуемого контакта и образцового делителя производится с помощью электронного ключа или контактов вспомогательного реле.

На рис. 3 показана модификация этого метода контроля. Отличие заключается в том, что схема формирования напряжения сравнения подобна схеме питания контактной цепи, но все резисторы этой схемы на порядок или на два больше резисторов питания контактной цепи. Такая схема позволяет избавиться от расчета делителей образцового напряжения, при этом величина сопротивления резистора, с которого снимается образцовое напряжение, всегда в K раз больше величины сопротивления контролируемого контакта. Если в качестве сопротивления R_0 взять магазин сопротивлений, то можно производить не только контроль, но и измерение переходного сопротивления контактов. Значение измеряемого сопротивления отсчитывается непосредственно по магазину в момент сравнения уровней напряжения на экране осциллографа. Эти устройства могут применяться для контроля динамического сопротивления, однако они не позволяют избавиться от погрешности измерения, вызываемой изменением переходного сопротивления колодки подключения и сопротивления проводов.

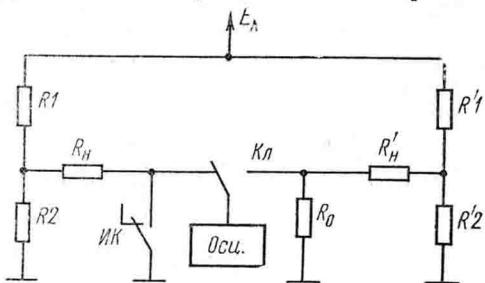


Рис. 3. Модификация схемы осциллографического метода сравнения:
 R_1, R_2, R_n — резисторы цепи питания испытуемого контакта ИК; R'_1, R'_2, R_0 — резисторы цепи формирования образцового напряжения

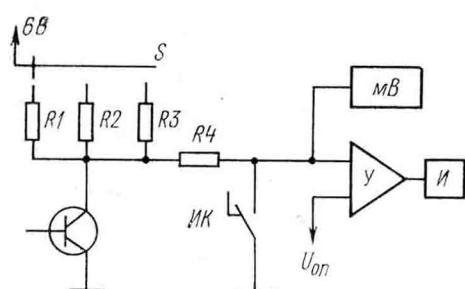


Рис. 4. Схема контроля с предварительной оценкой падения напряжения на испытуемом контакте:

$R_1 - R_4$ — резисторы нагрузки; ИК — испытуемый контакт; S — переключатель; мВ — милливольтметр; U_{OP} — образцовое опорное напряжение; И — индикатор

Известно [5] устройство (рис. 4), в котором после предварительной оценки падения напряжения на контактах при низком уровне питания производится увеличение напряжения питания контактной цепи и сопротивления нагрузки с таким расчетом, чтобы получить режим неизменного тока через контакты и не превзойти напряжения, способного вызвать фриттинг-процесс на контактах. При открытом транзисторе напряжение низкого уровня, снимаемое с коллектора через один

известно [5] устройство (рис. 4), в котором после предварительной оценки падения напряжения на контактах при низком уровне питания производится увеличение напряжения питания контактной цепи и сопротивления нагрузки с таким расчетом, чтобы получить режим неизменного тока через контакты и не превзойти напряжения, способного вызвать фриттинг-процесс на контактах. При открытом транзисторе напряжение низкого уровня, снимаемое с коллектора через один

из резисторов нагрузки, подается на испытуемый контакт. С помощью сравнивающего устройства Y производится оценка падения напряжения на испытуемом контакте, после чего выбирается одно из значений сопротивлений резисторов $R1-R3$ переключателем S , а транзистор закрывается. Падение напряжения на контакте, пропорциональное величине переходного сопротивления, измеряется милливольтметром. К сожалению, это устройство нельзя применять для контроля переходных процессов замыкания контактов, например при измерении динамического сопротивления, так как при закрытом транзисторе во время переходного процесса может произойти фриттинг.

Для контроля по альтернативному признаку в автоматизированных устройствах могут применяться мостовые методы. Наименьшую погрешность контроля в этом случае обеспечивает двойной мост (рис. 5). Как

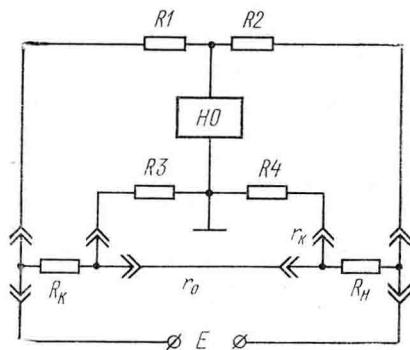


Рис. 5. Мостовой метод контроля: E — источник напряжения низкого уровня; HO — нуль-орган; R_h — резистор нагрузки; R_k — сопротивление испытуемого контакта; r_k — переходное сопротивление колодки подключения и разъемов; R_0 — сопротивление шунта

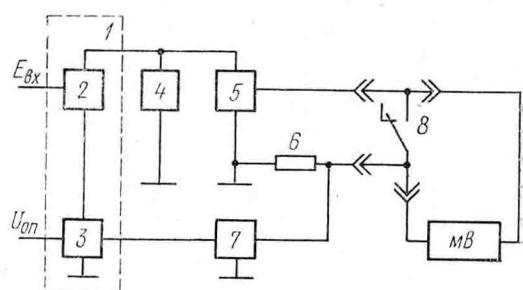


Рис. 6. Устройство контроля со специальным генератором тока для питания контактной цепи:
1 — стабилизатор; 2 — регулирующий элемент; 3 — усилитель рассогласования; 4 — ограничитель напряжения; 5 — делитель напряжения; 6 — резистор; 7 — усилитель; 8 — испытуемый контакт

известно, для двойного моста условием равновесия, выраженным относительно контролируемой величины, является

$$R_k = R_h \frac{R1}{R2} + d, \quad (3)$$

где

$$d = \frac{R_h (r_0 + 2r_k)}{R3 + R4 (r_0 + 2r_k)} \cdot \left(\frac{R1}{R2} - \frac{R3}{R4} \right).$$

Равенство (3) будет справедливо при условии, что

$$\frac{R_k}{R_h} = \frac{R1}{R2} \text{ и } \frac{R1}{R2} = \frac{R3}{R4},$$

Использование двойного моста позволяет уменьшать погрешность от изменения переходного сопротивления колодки подключения и сопротивления подводящих проводов. Падение напряжения в токовой цепи на переходных сопротивлениях колодки и проводах подключения равносильно в этом случае уменьшению напряжения источника питания. Это приводит к уменьшению чувствительности метода контроля. На рис. 6 показано устройство, свободное от перечисленных выше недостатков.

В зависимости от величины диапазона измеряемого переходного сопротивления выбирают ток контактной цепи и сопротивление нагрузки контактов 6, таким образом задаются некоторой, значительно меньшей, чем напряжения фриттинга, величиной падения напряжения на нагрузке контактов. Сигнал, снимаемый с нагрузки контактов 6, усиливается с помощью усилителя 7 и поступает на вход усилителя рассогласования 3 стабилизатора 1, где сравнивается с величиной опорного напряжения U_{op} . Усиленный разностный сигнал подается на регулирующий элемент 2 стабилизатора, который благодаря отрицательной обратной связи отрабатывает напряжение на делителе 5 таким образом, чтобы обеспечить неизменность заданного падения напряжения на нагрузке контактов 6, несмотря на изменение величины переходного сопротивления контактов. Это позволяет поддерживать постоянный ток, протекающий через контактную цепь и, следовательно, обеспечивать пропорциональность падения напряжения на контактах величине их переходного сопротивления в пределах выбранного диапазона измерения. При увеличении переходного сопротивления контактов и при их разрыве, чтобы обеспечить постоянный ток, протекающий через контактную цепь, напряжение на выходе регулирующего элемента 2 и делителя 5 увеличивается до заданного значения, определяемого ограничителем напряжения 4. Дальнейший рост напряжения на делителе 5 при этом прекращается, а регулирующий элемент 2 входит в насыщение. Напряжение ограничения и отношение резисторов делителя выбираются таким образом, чтобы напряжение на выходе делителя 5 не превышало напряжение фриттинга, например 20 мВ на верхнем значении выбранного диапазона измерения и при разрыве контактов. В простейшем варианте ограничителем напряжения может быть стабилитрон или источник напряжения, включенный последовательно с диодом. В качестве делителя можно использовать омический делитель или трансформатор, в последнем случае последовательно с первичной обмоткой трансформатора необходимо поставить ключ, управляемый от генератора звуковой частоты, а усилитель 5 может быть выполнен как усилитель переменного тока с детектором на выходе. Принцип работы устройства в этом случае не отличается от описанного выше, за исключением того, что пропорциональность будет обеспечиваться между амплитудой импульсов напряжения и переходным сопротивлением контактов. Применение трансформаторного делителя позволяет иметь одну общую шину для источника питания контактной цепи и схемы измерения контактного сопротивления.

Рассмотренные методы свидетельствуют о том, что контроль сопротивления контактной цепи в режиме низких уровней напряжения является более сложной технической задачей по сравнению с контролем в обычно применяемом режиме 6 В и имеет следующие особенности.

1. Если сопротивление нагрузки сравнимо с контролируемым переходным сопротивлением и с сопротивлением цепей подключения, то на результаты контроля может оказывать большое влияние нестабильность сопротивления цепей подключения: разъемов, колодок, соединительных проводов. Применяемое при этом подключение измеряемых контактов по четырехпроводной схеме не приводит к желаемым результатам.

2. Падение напряжения на контролируемых контактах непропорционально величине переходного сопротивления.

3. Указанные выше особенности могут привести к значительной погрешности или даже к совершенно ложным результатам контроля. Радикальным средством уменьшения погрешности контроля в этом случае, как, впрочем, и при контроле на высоких уровнях напряжения, яв-

ляется применение для питания контактной цепи специального генератора тока, имеющего ограничение выходного напряжения на заданном низком уровне.

4. При разработке или использовании устройств контроля нужно тщательно следить за тем, чтобы падение напряжения на измеряемых контактах во всех случаях не превосходило заданного низкого уровня, в том числе и при переходных режимах источника питания контактной цепи или на самих контактах, а также при вспомогательных переключениях.

В заключение можно отметить, что в тех случаях, когда контакты предназначены для коммутации низких уровней, все технологические и контрольные операции, в которых на контакты должно подаваться напряжение, целесообразно было бы проводить при низких уровнях напряжения на контактах для того, чтобы избежать маскирующего эффекта электроочистки контактов при коммутации ими высоких уровней напряжения и тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копылов В. С. Новый метод и устройство для испытаний на износустойчивость.—Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТПС, 1972, вып. 3, с. 77—84.
2. Штремберг Т. К. Критерии коммутационных возможностей реле при малых нагрузках.—Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТПС, 1970, вып. 4, с. 71—81.
3. Leo Jedynak, Clinton H., Коррег. Instrumentation for Measuring Dry-Circuit Contact Resistance.—IEEE Transactions on Parts, Hibrids and Packaging, 1975, vol. PHP-11, N2, p. 130—134.
4. Тышков И. С. Устройство для контроля и измерения сопротивления контактов реле при низких уровнях нагрузки. Авт. свид. № 437025 — Бюл. изобрет., 1974, № 27.
5. Аугустинас Л. Р. Устройство для измерения переходного сопротивления контакта. Авт. свид. № 400855 — Бюл. изобрет., 1973, № 40.

Статья поступила в ноябре 1979 года.